

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicants: MORITA et al

Serial No.:

Filed: March 4, 2004

For: Nuclear Magnetic Resonance Measuring Apparatus

Group:

Examiner:

LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Mail Stop: New Appln.
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

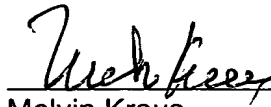
March 4, 2004

Sir:

Under the provisions of 35 USC 119, applicant hereby claims the right of priority based on Japanese Patent Application No. 2003-340574, filed September 30, 2003.

Respectfully submitted,

ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP



Melvin Kraus
Registration No. 22,466

MK/jla
(703) 312-6600
Attachment

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 9 月 3 0 日
Date of Application:

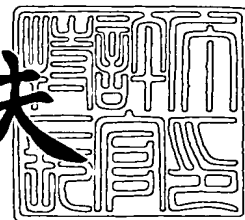
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 3 4 0 5 7 4
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 3 4 0 5 7 4]

出 願 人 株式会社日立製作所
Applicant(s):

2 0 0 4 年 2 月 1 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 NT03P0481
【提出日】 平成15年 9月30日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 G01R 33/32
【発明者】
 【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株式会社日立製作所 日立研究所内
 【氏名】 森田 裕
【発明者】
 【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株式会社日立製作所 日立研究所内
 【氏名】 岡田 道哉
【発明者】
 【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株式会社日立製作所 日立研究所内
 【氏名】 桐生 正衛
【発明者】
 【住所又は居所】 茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株式会社日立製作所 日立研究所内
 【氏名】 清野 博光
【特許出願人】
 【識別番号】 000005108
 【氏名又は名称】 株式会社日立製作所
【代理人】
 【識別番号】 100068504
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 小川 勝男
 【電話番号】 03-3661-0071
【選任した代理人】
 【識別番号】 100086656
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 田中 恭助
 【電話番号】 03-3661-0071
【選任した代理人】
 【識別番号】 100094352
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 佐々木 孝
 【電話番号】 03-3661-0071
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 081423
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

NMR 受信コイルおよび照射コイルを備えた NMR プローブヘッドと、前記プローブヘッド内に設けられ、前記 NMR 受信コイルによって受信される NMR 信号を増幅する前置増幅器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記 NMR 受信コイルおよび照射コイルと冷媒との間で熱交換するコイル冷却用熱交換器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記前置増幅器と冷媒との間で熱交換する前置増幅器用熱交換器と、冷媒を冷却および圧縮できる冷却装置と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドへ移送する第 1 移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第 2 移送管路と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドに移送する第 3 移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第 4 移送管路とを備え、前記冷却装置は、第 1 段熱交換器を有する第 1 冷却段と、第 2 段熱交換器を有する第 2 冷却段とを含む極低温冷凍機と、冷媒を圧縮する圧縮機、第 1 向流式熱交換器、第 2 向流式熱交換器を備え、前記第 1 冷却段は、前記第 2 冷却段の第 2 段温度より高い第 1 段温度を有し、前記圧縮機は、冷媒を前記第 1 向流式熱交換器、前記第 3 移送管路、前記前置増幅器用熱交換器、前記第 4 移送管路、前記第 1 段熱交換器、前記第 2 向流式熱交換器、前記第 2 段熱交換器、前記第 1 移送管路、前記コイル冷却用熱交換器、前記第 2 移送管路、前記第 2 向流式熱交換器、前記第 1 向流式熱交換器の順の経路で循環することができ、冷媒の循環する前記経路の少なくとも 1 ヶ所に冷媒の全量が通過する圧力調整弁を直列に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であることを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記経路における前記第 1 向流式熱交換器と前記圧縮機との間の設置され、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は、核磁気共鳴装置の設置された環境温度とほぼ同じ温度で動作する核磁気共鳴測定装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の核磁気共鳴測定装置であって、冷媒の前記経路における前記第 2 段熱交換器と前記第 1 移送管路との間に少なくとも 1 個の冷媒タンクを設核磁気共鳴測定装置。

【請求項 4】

NMR 受信コイルおよび照射コイルを備えた NMR プローブヘッドと、前記プローブヘッド内に設けられ、前記 NMR 受信コイルによって受信される NMR 信号を増幅する前置増幅器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記 NMR 受信コイルおよび照射コイルと冷媒との間で熱交換するコイル冷却用熱交換器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記前置増幅器と冷媒との間で熱交換する前置増幅器用熱交換器と、冷媒を冷却および圧縮できる冷却装置と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドへ移送する第 1 移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第 2 移送管路と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドに移送する第 3 移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第 4 移送管路とを備え、前記冷却装置は、第 1 段熱交換器を有する第 1 冷却段と、第 2 段熱交換器を有する第 2 冷却段とを含む極低温冷凍機と、冷媒を圧縮する圧縮機、第 1 向流式熱交換器、第 2 向流式熱交換器を備え、前記第 1 冷却段は、前記第 2 冷却段の第 2 段温度より高い第 1 段温度を有し、前記圧縮機は、冷媒を前記第 1 向流式熱交換器、前記第 1 段熱交換器、前記第 3 移送管路、前記前置増幅器用熱交換器、前記第 4 移送管路、前記第 2 向流式熱交換器、前記第 2 段熱交換器、前記第 1 移送管路、前記コイル冷却用熱交換器、前記第 2 移送管路、前記第 2 向流式熱交換器、前記第 1 向流式熱交換器の順の経路で循環することができ、冷媒の循環する前記経路の少なくとも 1 ヶ所に冷媒の全量が通過する圧力調整弁を直列に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であることを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の核磁気共鳴測定装置において、前記圧力調整弁は、冷媒の前記経路に

おける前記第1向流式熱交換器と前記圧縮機の間に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は、設置された環境温度とほぼ同じ温度で動作する核磁気共鳴測定装置。

【請求項6】

請求項4に記載の核磁気共鳴測定装置であって、冷媒の前記経路における前記第2段熱交換器と前記第1移送管路の間に少なくとも1個の冷媒タンクを設けたことを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項7】

NMR受信コイルおよび照射コイルを備えたNMRプローブヘッドと、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルによって受信されるNMR信号を増幅する前置増幅器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルおよび照射コイルと冷媒との間で熱交換するコイル冷却用熱交換器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記前置増幅器と冷媒との間で熱交換する前置増幅器用熱交換器と、冷媒を冷却および圧縮できる冷却装置と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドへ移送する第1移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第2移送管路と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドに移送する第3移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第4移送管路とを備え、前記冷却装置は、第1段熱交換器を有する第1冷却段と、第2段熱交換器を有する第2冷却段とを含む極低温冷凍機と、冷媒を圧縮する圧縮機、第1向流式熱交換器、第2向流式熱交換器を備え、前記第1冷却段は、前記第2冷却段の第2段温度より高い第1段温度を有し、前記圧縮機は、冷媒を前記第1向流式熱交換器、前記第1段熱交換器、前記第2向流式熱交換器、前記第2段熱交換器、前記第1移送管路、前記コイル冷却用熱交換器、前記第2移送管路、前記第2向流式熱交換器、前記第3移送管路、前記前置増幅器用熱交換器、前記第4移送管路、前記第1向流式熱交換器の順の経路で循環することができ、冷媒の循環する前記経路の少なくとも1ヶ所に冷媒の全量が通過する圧力調整弁が直列に設置され、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能である核磁気共鳴測定装置。

【請求項8】

請求項7に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記経路における前記第2段熱交換器と前記第1移送管路の間に設置され、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は、核磁気共鳴装置の設置された環境温度より低い温度で動作する核磁気共鳴測定装置。

【請求項9】

請求項7に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記経路における前記第1向流式熱交換器と前記圧縮機の間の任意位置に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は前記核磁気共鳴測定装置の設置された環境温度とほぼ同じ温度で動作する核磁気共鳴測定装置。

【請求項10】

請求項7に記載の核磁気共鳴測定装置であって、冷媒の前記経路における前記第2段熱交換器と前記第1移送管路の間に少なくとも1個の冷媒タンクを設けた核磁気共鳴測定装置。

【請求項11】

NMR受信コイルおよび照射コイルを備えたNMRプローブヘッドと、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルによって受信されるNMR信号を増幅する前置増幅器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルおよび照射コイルと冷媒との間で熱交換するコイル冷却用熱交換器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記前置増幅器と冷媒との間で熱交換する前置増幅器用熱交換器と、冷媒を冷却および圧縮できる冷却装置と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドへ移送する第1移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第2移送管路と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドに移送する第3移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第4移送管路とを備え、前記冷却装置は、第1段熱交換器を

有する第1冷却段と、第2段熱交換器を有する第2冷却段とを含む極低温冷凍機と、冷媒を圧縮する圧縮機、第1向流式熱交換器、第2向流式熱交換器、第3向流式熱交換器を備え、前記第1冷却段は、前記第2冷却段の第2段温度より高い第1段温度を有し、前記圧縮機は冷媒を前記第1向流式熱交換器、前記第1段熱交換器、前記第2向流式熱交換器、前記第2段熱交換器、前記第1移送管路、前記コイル冷却用熱交換器、前記第2移送管路、前記第2向流式熱交換器、前記第1向流式熱交換器の順の第1経路と、前記第1経路における前記圧縮機と前記第1向流式熱交換器の間に設けた冷媒分岐点から前記第1経路から分岐し、前記第3向流式熱交換器、前期第1段熱交換器、前記第3移送管路、前記前置増幅器用熱交換器、前記第4移送管路、前記第3向流式熱交換器の順で冷媒が移送され、前記第1経路における前記第1向流式熱交換器と前記圧縮機の間に設けた冷媒合流点で前記第1経路に合流する順の第2経路において、前記第1経路と前記第2経路で並行して循環することができ、冷媒の循環する前記第1経路および前記第2経路のそれぞれの少なくとも1ヶ所に圧力調整弁を直列に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能なことを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項12】

請求項11に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記第1経路における前記第2段熱交換器と前記第1向流式熱交換器の間、および前記冷媒の前記第2経路における前記前置増幅器用熱交換器と前記第3向流式熱交換器の間に設置され、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は、核磁気共鳴装置の設置された環境温度より低い温度で動作することを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項13】

請求項11に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記第1経路における前記第1向流式熱交換器と前記冷媒合流点の間の任意位置、および前記第2経路における前記第3向流式熱交換器と前記冷媒合流点の間に設置され、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は、核磁気共鳴装置の設置された環境温度とほぼ同じ温度で動作することを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項14】

請求項11に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記第1経路における前記冷媒合流点と前記圧縮機の間に設置され、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、核磁気共鳴装置の設置された環境温度とほぼ同じ温度で動作する核磁気共鳴測定装置。

【請求項15】

請求項11に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記第1経路における前記第2段熱交換器と前記第1向流式熱交換器の間、および前記冷媒の前記第2経路における前記前置増幅器用熱交換器と前記第3向流式熱交換器の間に設置され、冷媒の前記第1経路における前記第2段熱交換器と前記第2向流式熱交換器の間に少なくとも1個の冷媒タンクが設けられ、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は、核磁気共鳴装置の設置された環境温度より低い温度で動作する核磁気共鳴測定装置。

【請求項16】

NMR受信コイルおよび照射コイルを備えたNMRプローブヘッドと、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルによって受信されるNMR信号を増幅する前置増幅器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルおよび照射コイルと冷媒との間で熱交換するコイル冷却用熱交換器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記前置増幅器と冷媒との間で熱交換する前置増幅器用熱交換器と、冷媒を冷却および圧縮できる冷却装置と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドへ移送する第1移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第2移送管路と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドに移送する第3移送管路と、冷媒を前記プローブヘッド

から前記冷却装置に移送する第4移送管路とを備え、前記冷却装置は、第1段熱交換器を有する第1冷却段と、第2段熱交換器を有する第2冷却段とを含む極低温冷凍機と、冷媒を圧縮する圧縮機、第1向流式熱交換器、第2向流式熱交換器を備え、前記第1冷却段は、前記第2冷却段の第2段温度より高い第1段温度を有し、前記圧縮機は、冷媒を前記第1向流式熱交換器、前記第2段熱交換器、前記第1移送管路、前記コイル冷却用熱交換器、前記第2移送管路、前記第1向流式熱交換器の順の経路で循環することができ、冷媒の循環する前記経路に少なくとも1ヶ所に冷媒の全量が通過する圧力調整弁を直列に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能である核磁気共鳴測定装置。

【請求項17】

請求項16に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記経路における前記第2段熱交換器と前記第1向流式熱交換器の間の任意位置に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は、前記核磁気共鳴測定装置の設置された環境温度より低い温度で動作することを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項18】

請求項16に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は前記冷媒の前記経路における前記第1向流式熱交換器と前記圧縮機の間の任意位置に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は前記核磁気共鳴測定装置の設置された環境温度とほぼ同じ温度で動作することを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項19】

請求項16に記載の核磁気共鳴測定装置であって、冷媒の前記経路における前記第2段熱交換器と前記第2向流式熱交換器の間の任意位置に少なくとも1個の冷媒タンクを設けたことを特徴とする核磁気共鳴測定装置。

【請求項20】

NMR受信コイルおよび照射コイルを備えたNMRプローブヘッドと、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルによって受信されるNMR信号を増幅する前置増幅器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルおよび照射コイルと冷媒との間で熱交換するコイル冷却用熱交換器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記前置増幅器と冷媒との間で熱交換する前置増幅器用熱交換器と、冷媒を冷却および圧縮できる冷却装置と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドへ移送する第1移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第2移送管路と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドに移送する第3移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第4移送管路とを備え、前記冷却装置は、第1段熱交換器を有する第1冷却段と、第2段熱交換器を有する第2冷却段とを含む極低温冷凍機と、冷媒を圧縮する圧縮機、第1向流式熱交換器、第2向流式熱交換器を備え、前記第1冷却段は、前記第2冷却段の第2段温度より高い第1段温度を有し、前記圧縮機は、冷媒を前記第1向流式熱交換器、前記第1段熱交換器、前記第2向流式熱交換器、前記第2段熱交換器、前記第1移送管路、前記コイル冷却用熱交換器、前記第2移送管路、前記第2向流式熱交換器、前記第1向流式熱交換器の順の経路で循環することができ、冷媒の循環する前記経路に少なくとも1ヶ所に冷媒の全量が通過する圧力調整弁を設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能である核磁気共鳴測定装置。

【請求項21】

請求項20に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は前記冷媒の前記経路における前記第2段熱交換器と前記第1向流式熱交換器の間に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は前記核磁気共鳴測定装置の設置された環境温度より低い温度で動作する核磁気共鳴測定装置。

【請求項22】

請求項20に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記圧力調整弁は、前記冷媒の前記

経路における前記第 1 向流式熱交換器と前記圧縮機の上に設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能であり、前記圧力調整弁は、前記核磁気共鳴測定装置の設置された環境温度とほぼ同じ温度で動作する核磁気共鳴測定装置。

【請求項 2 3】

請求項 2 0 に記載の核磁気共鳴測定装置であって、冷媒の前記経路における前記第 2 段熱交換器と前記第 2 向流式熱交換器の間の任意位置に少なくとも 1 個の冷媒タンクを設けた核磁気共鳴測定装置。

【請求項 2 4】

請求項 2 0 に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記経路以外に前記極低温冷凍機とは別の第 2 冷凍機を設け、前置増幅器用熱交換器を介して前記第 2 冷凍機を用いて冷却した冷媒と前記前置増幅器を熱交換する核磁気共鳴測定装置。

【請求項 2 5】

請求項 2 0 に記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記経路以外に前記冷媒タンクとは別の第 2 冷媒タンクを設け、前置増幅器用熱交換器を介して前記第 2 冷媒タンクに貯蔵した冷媒と前記前置増幅器を熱交換する核磁気共鳴測定装置。

【請求項 2 6】

請求項 1、4、7、11、20 のいずれか一つに記載の核磁気共鳴測定装置であって、前記第 1 移送管路、前記第 2 移送管路、前記第 3 移送管路および前記第 4 移送管路は単一の移送管路収納管の内部に収納した核磁気共鳴測定装置。

【書類名】明細書

【発明の名称】核磁気共鳴測定装置

【技術分野】

【0001】

本発明はプローブヘッド内の照射コイル、受信コイルおよび前置増幅器を冷却することにより、照射コイルまたは受信コイルのQ値とS/N比を高めることが可能な核磁気共鳴測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

一般的に核磁気共鳴測定装置 (Nuclear Magnetic Resonance Measuring Apparatus, 以下 NMR 装置と略称する) には連続的に無線周波数信号電磁波を試料に照射するCW型 (Continuing Wave Type) と、パルス状の電磁波を試料に照射するパルスフーリエ型 (Pulse Fourier Type) が存在するが、最近では後者のパルスフーリエ型NMRを指すことが多くなっている。本願明細書においては、通常、パルスフーリエ型NMR装置を指すものとする。

【0003】

NMR装置に関する基本的構成については「NMRの書」(荒田洋治著、丸善出版刊、2000年)第III部測定技術に記載されている。同著によると、NMR装置は静磁場を発生する超電導磁石、内部に収納した試料に高周波パルス磁場を照射する照射コイル、試料から発せられる自由誘導減衰信号(FID信号)を受信する受信コイル、上記コイルを内部に備えたプローブヘッド、照射コイルに高周波電流を供給する高周波電源、自由誘導減衰信号を増幅する増幅器、信号を検波する検波器、検波器によって検出した信号を解析する解析装置等から構成される。

【0004】

照射コイルまたは受信コイルは、様々な核種や測定方法に対応するように複数のコイルを備えるプローブヘッドがある。照射コイルと受信コイルは、それらの機能を併せ持っているコイルもある。これらコイルを総称してここではプローブコイルと称する。

【0005】

プローブヘッドの一種に低温プローブがある。前述の「NMRの書」によれば、低温プローブとは、プローブコイルを超電導化し、極低温のヘリウムガスによってプローブヘッド内部を冷却する方式のプローブヘッドをいい、超電導体としては一般的には酸化物超電導体が用いられる。

【0006】

低温プローブの利点は二つある。ひとつは回路の電気抵抗が低くなるため、コイルの選択度Qの値を高めることができることである。コイルの選択度Qの値は式(1)で表すことができる。

【0007】

【数1】

$$Q = \sqrt{\frac{L}{C}} \frac{1}{R} \quad \dots (1)$$

【0008】

ここで、Lは回路のインダクタンス、Cはキャパシタンス、Rは抵抗である。式(1)によると、電気抵抗Rが小さくなると、Q値が高くなることがわかる。もうひとつは低温にしたために回路全体の熱雑音を減少させることができ、S/N比が向上することである。ノイズ電圧 V_n は式(2)で表すことができる。

【0009】

【数2】

$$V_n = \sqrt{4kT\Delta f R} \quad \dots (2)$$

【0010】

ここで k はボルツマン定数、 T は温度、 Δf は周波数幅、 R は電気抵抗である。式(2)によれば、温度 T が低くなるとノイズ電圧 V_n は小さくなるのがわかる。一般的な金属では温度 T が低くなると、電気抵抗 R も小さくなる。したがって、プローブヘッド内部を冷却し、プローブコイルを超電導化することによりノイズ電圧 V_n は R の $1/2$ 乗以上の割合で小さくすることができる。

【0011】

プローブヘッド内部を冷却し、低温プローブを実現するための冷却技術として特許第2947348号がある。これによれば、簡単な方法で、かつ、大きな技術的困難とコストの増加を伴わずに受信コイルの温度を30K以下に冷却できる。

【0012】

【特許文献1】特許第2947348号公報

【0013】

【非特許文献1】「NMRの書」、(荒田洋治著、丸善出版刊、2000年発行)第III部測定技術

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0014】

しかしながら、前述の特許文献1(特許第2947348号)においては以下述べるような課題がある。冷媒を圧縮機により循環させる場合、冷媒と冷媒流路の摩擦により圧力が低下する。これを圧力損失と呼ぶ。平滑な円管内における乱流状態の流体の圧力損失は、式(3)に示すブラジウスの抵抗公式を用いて計算できる。

【0015】

【数3】

$$\lambda = 0.1364 \text{Re}^{-\frac{1}{4}} \quad \dots (3)$$

【0016】

ここで λ は管摩擦係数、 Re はレイノルズ数を示す。

【0017】

圧力損失 Δp は式4を用いて計算できる。

【0018】

【数4】

$$\Delta p = \lambda \left(\frac{\rho u^2}{2} \right) \left(\frac{L}{D} \right) \quad \dots (4)$$

【0019】

ここで ρ は流体の密度(kg/m^3)、 u は流体の平均流速(m/s)、 L は円管の長さ(m)、 D は円管の直径(m)を示す。平均流速 u は式(5)を用いて計算する。

【0020】

【数5】

$$u = \frac{\dot{m}}{\left(\frac{D}{2} \right)^2 \pi \rho} \quad \dots (5)$$

【0021】

ここで \dot{m} は質量流量(kg/s)である。

【0022】

例えば、流体をヘリウムとし、圧力1MPaが質量流量0.001kg/sで長さ10m、直径0.003mの円管内を流れたとすると、温度300Kと5Kの場合の圧力損失は表1で示される値となる。

【0023】

【表1】

表 1

流体：ヘリウム、圧力：1MPa、質量流量 0.001kg/s 円管：長さ 10m、直径 0.003m	
温度(K)	圧力損失(MPa)
300	0.55
5	0.0042

【0024】

表1における圧力損失は、円管の途中での圧力損失に伴う密度の低下を考慮していないので、圧力損失の実験値はこれより大きくなるが、5Kの圧力損失は300Kと比較して100分の1に低下していることがわかる。

【0025】

表1に示した流体および円管の条件は、圧縮機により冷媒を循環させ低温プローブを冷却する方式である特許文献1（特許第2947348号）の装置において現実的な値であり、この値を適用する。

【0026】

この装置が運転を開始し十分に時間が経過した後、5Kに冷却された冷媒流路の長さが10mであると仮定する。また、ここでは前後の5K以上の区間における圧力損失は無視する。この場合、圧縮機において1MPaで圧縮され吐出されたヘリウムは0.9958MPaで再び圧縮機に吸入されることとなる。

【0027】

一方、上記の10mの流路が300Kであった場合は、圧縮機において1MPaで圧縮され吐出されたヘリウムは、0.45MPaで再び圧縮機に吸入されることとなる。後者の場合は特に大きな問題はない。

【0028】

しかし、一般的に容積型と称する圧縮機では圧縮比を約2倍以上にしないと十分な流量を確保できないばかりか、運転中に圧縮機が破壊することが考えられ、前者の場合は問題がある。

【0029】

特許文献1（特許第2947348号）は、質量流量を制御するための弁を流路に設けているが、これは冷媒が分岐して2ヶ所を同時に効率よく冷却するために、それぞれの経路を流れる冷媒の流量を調節する機能を果たすものであり、圧縮機の吐出圧力と吸入圧力の比を調節することはできない。したがって、特許文献1（特許第2947348号）における装置では冷媒の流量を確保できないばかりか、運転中に圧縮機が破壊するおそれもある。

【課題を解決するための手段】

【0030】

本発明のひとつの課題解決手段は、NMR受信コイルおよび照射コイルを備えたNMRプローブヘッドと、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルによって受信されるNMR信号を増幅する前置増幅器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記NMR受信コイルおよび照射コイルと冷媒との間で熱交換するコイル冷却用熱交換器と、前記プローブヘッド内に設けられ、前記前置増幅器と冷媒との間で熱交換する前置増幅器用熱交換器と、冷媒を冷却および圧縮できる冷却装置と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドへ移送する第1移送管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第2移送管路と、冷媒を前記冷却装置から前記プローブヘッドに移送する第3移送

管路と、冷媒を前記プローブヘッドから前記冷却装置に移送する第4移送管路とを備え、前記冷却装置は、第1段熱交換器を有する第1冷却段と、第2段熱交換器を有する第2冷却段とを含む極低温冷凍機と、冷媒を圧縮する圧縮機、第1向流式熱交換器、第2向流式熱交換器を備え、前記第1冷却段は、前記第2冷却段の第2段温度より高い第1段温度を有し、前記圧縮機は、冷媒を前記第1向流式熱交換器、前記第1段熱交換器、前記第3移送管路、前記前置増幅器用熱交換器、前記第4移送管路、前記第2向流式熱交換器、前記第2段熱交換器、前記第1移送管路、前記コイル冷却用熱交換器、前記第2移送管路、前記第2向流式熱交換器、前記第1向流式熱交換器の順の経路で循環することができ、冷媒の循環する前記経路の少なくとも1ヶ所に冷媒の全量が通過する圧力調整弁を設置し、前記圧力調整弁を通過する冷媒の圧力を降下させることが可能とした核磁気共鳴測定装置である。

【発明の効果】

【0031】

これにより、プローブヘッド内の照射コイル、受信コイルおよび前置増幅器を極低温冷却することができ、低温プローブを実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

図1は、本発明の一実施の形態を示す簡略構成図である。極低温冷凍機10は、第1冷却段12、第2冷却段14を備え、極低温冷凍機用圧縮機16により駆動される。第1冷却段12は、第1段熱交換器18と熱的に接続され、第2冷却段14は、第2段熱交換器20と熱的に接続されている。第1段熱交換器18は、冷媒を45K、第2段熱交換器20は、冷媒を4.5Kまで冷却することができる。

【0033】

第1向流式熱交換器22、第1段熱交換器18、第2向流式熱交換器24、第2段熱交換器20は、真空容器26内に収容される輻射シールド28内に設置されている。向流式熱交換器は、互いに流れ方向が反対の熱交換器部を持っている。

【0034】

輻射シールド28は、極低温冷凍機10の第1冷却段12と熱的に接続されている。真空容器26内は真空に保たれていて、輻射シールド28の外側は、多層断熱層であるスーパーインシュレータが巻回されており、輻射シールド28内にある装置類への輻射熱を軽減している。

【0035】

冷媒は圧縮機31、第1向流式熱交換器22、第3移送管路38、前置増幅器用熱交換器48、第4移送管路40、第1段熱交換器18、第2向流式熱交換器24、第2段熱交換器20、第1移送管路34、コイル冷却用熱交換器56、第2移送管路36、第2向流式熱交換器24、第1向流式熱交換器22、圧力調整弁30、圧縮機31の順で循環する。

【0036】

圧力調整弁30は、冷媒が圧縮機31の吸入口側の室温環境に設置されており、開度は0%から100%まで任意に調整できる。

【0037】

移送管路収納管32およびその内部は、図2の詳細図に示すような構造である。第1移送管路34、第2移送管路36、第3移送管路38、第4移送管路40は、単一の移送管路収納管32内に設置されている。第3移送管路38は、二重管であり、その外側管と内側管の間隙を冷媒が流れる構造である。

【0038】

第3移送管路38の内部には第1移送管路34、第2移送管路36および第4移送管路40が設置されており、それぞれの移送管路の外部には移送管路への輻射侵入熱を低減できるよう、多層断熱層であるスーパーインシュレータ42が巻回されている。

【0039】

また、移送管路収納管 32 内部は真空引きされており、気体の対流および熱伝導により移送管路への侵入熱を低減している。図 1 に示すプローブ 44 の内部には輻射シールド 46 が設置されている。プローブ 44 内部は真空であり、図示しないが輻射シールド 46 の外側は多層断熱層であるスーパーインシュレータが巻回されており、輻射シールド 46 内にある装置類への輻射熱を軽減している。輻射シールド 46 は、前置増幅器用熱交換器 48 と熱的に接続されている。

【0040】

図 10 にプローブ 44 内部の構造の一例を示す。輻射シールド 46 は、前置増幅器用熱交換器 48 と熱的に接続されている。また、前置増幅器 50 と前置増幅器用熱交換器 48 の間はプローブコイル冷却用伝熱部 52 を介して熱的に接続されている。

【0041】

NMR プローブコイル 54 とコイル冷却用熱交換器 56 の間は熱的に接続されている。さらに好ましくは、前置増幅器用熱交換器 48 は調整回路 58 と熱的に接続するとよい。図 10 においては、NMR プローブコイル 54 を照射用と受信用を兼用としたタイプを図示している。

【0042】

NMR プローブコイル 54 は、照射用と受信用を分けて複数配置してもよい。NMR プローブコイル 54 と調整回路 58、調整回路 58 と前置増幅器 50、調整回路 58 と高周波パルス入力端子 60、前置増幅器 50 と FID 信号出力端子 62 はそれぞれ電氣的に接続されている。

【0043】

高周波パルス磁場をサンプルに照射する場合、プローブの外部の高周波電源により発生された高周波パルス電流は、FID 信号出力端子 62、調整回路 58 を介して NMR プローブコイル 54 に与えられ、磁場としてサンプル管 64 内のサンプルに照射される。

【0044】

この際、高周波パルス電流が前置増幅器 50 に入力されると前置増幅器 50 を破壊するおそれがあるので、調整回路 58 は高周波パルス電流が前置増幅器 50 に入らないような回路を構成している。

【0045】

サンプルの発する FID 信号は NMR プローブコイル 54 により受信され、調整回路 58 に電気信号として入力され、前置増幅器 50 により増幅され、FID 信号出力端子 62 を介してプローブ外部の増幅器、検波器、解析装置等に送られる。調整回路 58 は高周波パルス電流が流れることにより受動的にスイッチングを行う回路でも、外部からのトリガー信号によりスイッチングを行う回路でもよい。

【0046】

前者の場合、回路の一例としてクロスダイオードを用いた回路が挙げられる。また、後者の場合、PIN ダイオードスイッチや機械的高速度スイッチ等を採用する方法が挙げられる。

【0047】

調整回路 58 には NMR プローブ内の回路の共鳴周波数やインピーダンス整合を行うための任意のキャパシタやインダクタ等を含むことが望ましい。さらに、一つの NMR プローブコイル 54 で多重共鳴、すなわち、一つのコイルで複数の核の共鳴周波数の高周波パルス磁場を発生できるよう、キャパシタやインダクタを含む回路を調整回路 58 内に備えてもよい。

【0048】

調整回路 58 および前置増幅器 50 は熱雑音を防ぐため低温に冷却されているが、特に熱雑音を考慮しない場合は常温環境に置いてもよい。図 10 においては照射用と受信用を一つの NMR プローブコイル 54 で動作させているが、照射用コイルと受信用コイルを別に設置してもよい。

【0049】

本実施の形態における移送管路収納管 32 の長さは約 3 m、直径は約 10 cm であり、スーパーインシュレータの厚さ、枚数等を最適化した結果、表 2 に示す侵入熱量であることがわかった。

【0050】

【表 2】

表 2

名称	入口での冷媒温度 (K)	侵入熱量 (W)
第 1 移送管路	4.5	0.15
第 2 移送管路	5.1	0.15
第 3 移送管路	5.8	11.5
第 4 移送管路	8.2	0.53

【0051】

上述した条件で本実施の形態を動作させた場合の各部温度の測定結果を図 1 内に示す。

【0052】

これは冷媒圧力を圧縮機 31 の吐出口で 1 MPa、圧力調整弁 30 の直後で 0.3 MPa とし、冷媒の流量を 0.1 g/s で運転した場合の温度測定結果である。図 1 からわかるようにコイル冷却用熱交換器 56 を約 5 K にまで冷却することが可能であった。これにより、NMR プローブコイル 50 を極低温に冷却することができ、Q 値と S/N 比を向上することが可能であった。

【0053】

また、5 K という温度は常圧中での液体ヘリウムの温度である 4.2 K に近く、照射コイルまたは受信コイルとしては Y-123 系、Bi-2223 系または Bi-2212 系酸化物系超電導体等はもちろん、MgB₂、Nb₃Al、Nb₃Sn、NbTi 等の金属系超電導体の安定使用も可能な温度である。

【0054】

酸化物系超電導体では超電導膜に対して垂直方向に磁場を加えた場合は平行方向と比較して 2 桁程度輸送電流が減少するという問題があり、照射コイルおよび受信コイルの形状には制限がある。一方、金属系超電導体ではそのような異方性が小さいため、複雑な形状のコイルを簡単に作成できるというメリットがある。

【0055】

金属系超電導体は一般的に超電導転移温度が低く、また、超電導転移温度以下であっても、温度が高いと臨界電流が低下するという特性がある。したがって、複雑な形状のコイルを簡単に作成するためには金属系超電導体を用い、温度をできる限り下げるとよい。

【0056】

本実施の形態で実現できた 5 K という温度は一般的な金属系超電導体をコイルとして用いるには十分低い温度であり、本実施の形態を採用することにより複雑な形状のコイルも実現可能となった。次に、5 K までの冷却を実現できた理由を説明する。

移送管路収納管 32 の構造

本実施の形態では移送管路収納管 32 内に冷媒温度が約 5.8 ~ 8.0 K 程度の二重管状の第 3 移送管路 38 を設け、その内部には冷媒温度が約 4.5 ~ 4.9 K の第 1 移送管路 34、冷媒温度が約 5.1 ~ 5.4 K の第 2 管路 36 および冷媒温度が 8.2 ~ 8.3 K の第 4 移送管路 40 が設置されている。このような構成の場合、第 3 移送管路 38 が輻射シールドの機能を果たすため、内部の第 1 移送管路 34、第 2 移送管路 36、第 4 移送管路 40 への輻射侵入熱量をかなり低減することができる。

【0057】

また、本実施の形態では第 3 移送管路 38 を二重管構造としたが、第 4 移送管路 40 を 2 重管構造とし、その内部に第 3 移送管路 38 を設けてもほぼ同様の効果を得られる。

【0058】

しかしながら、例えば、それぞれの移送管路に別々にスーパーインシュレータ等を用いた極低温断熱を施した場合、輻射による侵入熱量が大きいため、5 Kレベルの冷媒をコイル冷却用熱交換器56に供給することは難しく、スーパーインシュレータの枚数および厚みを大きくすることが必要となり、移送管路をコンパクトにすることができない。

【0059】

また、移送管路収納管32を2本とし第1移送管路34と第2移送管路36、第3移送管路38と第4移送管路40をそれぞれの移送管路収納管に収納した場合も同様の理由により5 Kレベルの冷媒を供給することは難しい。

【0060】

一方、極低温冷凍機10の第1冷却段12の冷却性能は温度40 Kにおいて、約25 W、第2冷却段14は温度4.5 Kにおいて約1.5 Wである。このように、第1段冷却段12の冷却性能は第2冷却段14と比較して高い。したがって、原理的には輻射熱等を極低温冷凍機10により冷却する場合、第3移送管路38を輻射シールドとして利用し、第1冷却段12の冷却性能を効果的に使用することが望ましい。

圧力調整弁30の位置

本実施の形態において圧力調整弁30は室温環境に設置した。圧力調整弁30により冷媒の圧力を降下させることの必要性は前述したが、圧力調整弁30は、冷媒の循環経路のどこに設置してもよい。しかし、圧力調整弁30を冷媒が極低温である部分に設置する場合には低温において弁の開閉が可能な低温バルブを使用する必要がある。

【0061】

低温バルブは弁の部分は極低温であるものの、操作ハンドルは常温になるため、弁と操作ハンドルの間を連結する回転ロッドの長さを長くし、熱伝導による侵入熱量を低減している。しかし、冷媒の圧力が大きい場合、圧力による破壊を防止するため回転ロッドも太くせざるを得ない。例えば冷媒温度5 K、圧力1 MPaで使用可能な低温バルブの侵入熱量は数Wである。

【0062】

したがって、このような構成で低温バルブを用いると冷媒の温度が上がってしまうという問題点がある。本実施の形態では常温部分に圧力調整弁30を設置することにより、冷媒温度を約5 Kにまで冷却することが可能である。

【0063】

一方、低温バルブを用いて極低温冷媒の圧力を降下させ、ジュール・トムソン効果を利用することにより、冷媒の温度をさらに低下させたり、液化させたりすることは可能である。この場合、点線で示すように圧力調整弁30を第2段熱交換器20と第1移送管路34の間に設置することにより、その効果を得ることができる。

【0064】

図11にその詳細な構成を示す。図11においては圧力調整弁30、冷媒タンク70、第2段熱交換器20、第1移送管路34およびコイル冷却用熱交換器56等のみを図示しており、他の構成部品については図示することを省略している。図11に示した場所の他、例えば図1で述べたように圧縮機31の吸入側の常温部等にも別の圧力調整弁を付加してもよい。

【0065】

ジュール・トムソン効果を効率よく得るためには、例えば、冷媒をヘリウムとした場合、圧力調整弁30に流入する冷媒の温度は約7 K、圧力は1 MPa、圧力調整弁30から流出する冷媒の圧力は0.1 MPa程度が望ましい。上記の条件であれば4.2 Kの液体ヘリウムを得ることができる。

【0066】

したがって、ここで得られた液体ヘリウムを冷媒タンク70に一旦貯蔵し、必要量をコイル冷却用熱交換器56に移送することにより、NMRプローブコイル50を4.2 Kにまで冷却することができ、Q値やS/N比をさらに向上することが可能であった。

【0067】

図3は、本発明の他の実施の形態を示す図である。

【0068】

圧縮機31は、冷媒を第1向流式熱交換器22、第1段熱交換器18、第3移送管路38、前置増幅器用熱交換器48、第4移送管路40、第2向流式熱交換器24、第2段熱交換器20、第1移送管路34、コイル冷却用熱交換器56、第2移送管路36、第2向流式熱交換器24、第1向流式熱交換器22の順で循環する。極低温冷凍機10は、極低温冷凍機用圧縮機16により駆動され、第1冷却段12は第1段熱交換器18と熱的に接続され、第2冷却段14は第2段熱交換器20と熱的に接続されている。

【0069】

第1段熱交換器18は冷媒を45K、第2段熱交換器20は冷媒を4.5Kまで冷却することができる。第1向流式熱交換器22、第1段熱交換器18、第2向流式熱交換器24、第2段熱交換器20は真空容器26内の輻射シールド28内部に設置されている。

【0070】

輻射シールド28は極低温冷凍機10の第1冷却段12と熱的に接続されている。真空容器26内は真空であり、輻射シールド28の外側は多層断熱層であるスーパーインシュレータが巻回されており、輻射シールド28内にある装置類への輻射熱を軽減している。

【0071】

圧力調整弁30は、冷媒が圧縮機31の吸入口側の室温環境に設置されており、開度は0%から100%まで任意に調整できる。移送管路収納管32およびその内部の構造、熱的特性は前述した図2および表2と同じである。

【0072】

本実施の形態を動作させた場合の各部温度の測定結果を図3内に示す。

【0073】

これは冷媒圧力を圧縮機31の吐出口で1MPa、圧力調整弁30の直後で0.3MPaとし、冷媒の流量を0.1g/sで運転した場合、の温度測定結果である。図3からわかるようにコイル冷却用熱交換器56を約5Kにまで冷却することが可能であった。

【0074】

これにより、NMRプローブコイル50を極低温に冷却することができ、Q値とS/N比を向上することが可能であった。また、5Kという温度は常圧中での液体ヘリウムの温度である4.2Kに近く、照射コイルまたは受信コイルとしてはY-123系、Bi-2223系またはBi-2212系酸化物系超電導体等はもちろん、MgB₂、Nb₃Al、Nb₃Sn、NbTi等の金属系超電導体の安定使用も可能な温度である。

【0075】

酸化物系超電導体では超電導膜に対して垂直方向に磁場を加えた場合は、平行方向と比較して2桁程度輸送電流が減少するという問題があり、照射コイルおよび受信コイルの形状には制限がある。

【0076】

一方、金属系超電導体ではそのような異方性が小さいため、複雑な形状のコイルを簡単に作成できるというメリットがある。しかし、金属系超電導体は一般的に超電導転移温度が低く、また、超電導転移温度以下であっても、温度が高いと臨界電流が低下するという特性がある。

【0077】

したがって、複雑な形状のコイルを簡単に作成するためには金属系超電導体を用い、温度をできる限り下げるとよい。本実施の形態で実現できた5Kという温度は一般的な金属系超電導体をコイルとして用いるには十分低い温度であり、本実施の形態を採用することにより複雑な形状のコイルも実現可能となった。

【0078】

一方、図1で述べたように、低温バルブを用いて極低温冷媒の圧力を降下させ、ジュール・トムソン効果を利用することにより、冷媒の温度をさらに低下させたり、液化させた

りすることは可能である。この場合、圧力調整弁 30 を第 2 段熱交換器 20 と第 1 移送管路 34 の間に設置することにより、その効果を得ることができる。

【0079】

ジュール・トムソン効果を効率よく得るためには、例えば、冷媒をヘリウムとした場合、圧力調整弁 30 に流入する冷媒の温度は約 7 K、圧力は 1 MPa、圧力調整弁 30 から流出する冷媒の圧力は 0.1 MPa 程度が望ましい。上記の条件では 4.2 K の液体ヘリウムを得ることができる。

【0080】

したがって、ここで得られた液体ヘリウムを冷媒タンク 70 に一旦貯蔵し、必要量をコイル冷却用熱交換器 56 に移送することにより、NMR プロブコイル 50 を 4.2 K にまで冷却することができ、Q 値や S/N 比をさらに向上することが可能であった。

【0081】

図 4 は、本発明の他の実施の形態を示す図である。

【0082】

圧縮機 31 は冷媒を第 1 向流式熱交換器 22、第 1 段熱交換器 18、第 2 向流式熱交換器 24、第 2 段熱交換器 20、第 1 移送管路 34、コイル冷却用熱交換器 56、第 2 移送管路 36、第 2 向流式熱交換器 24、第 3 移送管路 38、前置増幅器用熱交換器 48、第 4 移送管路 40、第 1 向流式熱交換器 22 の順で循環する。

【0083】

極低温冷凍機 10 は極低温冷凍機用圧縮機 16 により駆動され、第 1 冷却段 12 は第 1 段熱交換器 18 と熱的に接続され、第 2 冷却段は第 2 段熱交換器 20 と熱的に接続されている。第 1 段熱交換器 18 は冷媒を 45 K、第 2 段熱交換器 20 は冷媒を 4.5 K まで冷却することができる。

【0084】

第 1 向流式熱交換器 22、第 1 段熱交換器 18、第 2 向流式熱交換器 24、第 2 段熱交換器 20 は真空容器 26 内の輻射シールド 28 内部に設置されている。輻射シールド 28 は極低温冷凍機 10 の第 1 冷却段 12 と熱的に接続されている。

【0085】

真空容器 26 内は真空であり、輻射シールド 28 の外側は多層断熱層であるスーパーインシュレータが巻回されており、輻射シールド 28 内にある装置類への輻射熱を軽減している。

【0086】

圧力調整弁 30 は、冷媒が圧縮機 31 の吸入口側の室温環境に設置されており、開度は 0% から 100% まで任意に調整できる。移送管路収納管 32 およびその内部の構造、熱的特性は前述の図 2 および表 2 と同じである。

【0087】

本実施の形態を動作させた場合の各部温度の測定結果を図 4 内に示す。

【0088】

これは冷媒圧力を圧縮機 31 の吐出口で 1 MPa、圧力調整弁 30 の直後で 0.3 MPa とし、冷媒の流量を 0.1 g/s で運転した場合、の温度測定結果である。

【0089】

図 4 からわかるようにコイル冷却用熱交換器 56 を約 5 K にまで冷却することが可能であった。これにより、NMR プロブコイル 50 を極低温に冷却することができ、Q 値と S/N 比を向上することが可能であった。

【0090】

また、5 K という温度は常圧中での液体ヘリウムの温度である 4.2 K に近く、照射コイルまたは受信コイルとしては Y-123 系、Bi-2223 系または Bi-2212 系酸化物系超電導体等はもちろん、MgB₂、Nb₃Al、Nb₃Sn、NbTi 等の金属系超電導体の安定使用も可能な温度である。

【0091】

酸化物系超電導体では超電導膜に対して垂直方向に磁場を加えた場合は、平行方向と比較して2桁程度輸送電流が減少するという問題があり、照射コイルおよび受信コイルの形状には制限がある。一方、金属系超電導体ではそのような異方性が小さいため、複雑な形状のコイルを簡単に作成できるというメリットがある。

【0092】

しかし、金属系超電導体は一般的に超電導転移温度が低く、また、超電導転移温度以下であっても、温度が高いと臨界電流が低下するという特性がある。したがって、複雑な形状のコイルを簡単に作成するためには金属系超電導体を用い、温度をできる限り下げるとよい。

【0093】

本実施の形態で実現できた5 Kという温度は一般的な金属系超電導体をコイルとして用いるには十分低い温度であり、本実施の形態を採用することにより複雑な形状のコイルも実現可能となった。

【0094】

一方、図1で説明したように、低温バルブを用いて極低温冷媒の圧力を降下させ、ジュール・トムソン効果を利用することにより、冷媒の温度をさらに低下させたり、液化させたりすることは可能である。この場合、圧力調整弁30を第2段熱交換器20と第1移送管路34の間に設置することにより、その効果を得ることができる。

【0095】

ジュール・トムソン効果を効率よく得るためには、例えば、冷媒をヘリウムとした場合、圧力調整弁30に流入する冷媒の温度は約7 K、圧力は1 MPa、圧力調整弁30から流出する冷媒の圧力は0.1 MPa程度が望ましい。上記の条件では4.2 Kの液体ヘリウムを得ることができる。

【0096】

したがって、ここで得られた液体ヘリウムを冷媒タンク70に一旦貯蔵し、必要量をコイル冷却用熱交換器56に移送することにより、NMRプローブコイル50を4.2 Kにまで冷却することができ、Q値やS/N比をさらに向上することが可能であった。

【0097】

図5は、本発明の他の実施の形態を示す図である。圧縮機31は冷媒を第1向流式熱交換器22、第1段熱交換器18、第2向流式熱交換器24、第2段熱交換器20、第1移送管路34、コイル冷却用熱交換器56、第2移送管路36、第2向流式熱交換器24、第1熱向流式熱交換器22の順の第1経路の順で冷媒を循環する。

【0098】

また、第1経路における圧縮機31と第1向流式熱交換器22の間に設けた冷媒分岐点において、第1経路から分岐し、第3向流式熱交換器74、第1段熱交換器18、第3移送管路38、前置増幅器用熱交換器48、第4移送管路40、第3向流式熱交換器74の順の第2経路で冷媒を循環する。

【0099】

極低温冷凍機10は極低温冷凍機用圧縮機16により駆動され、第1冷却段12は第1段熱交換器18と熱的に接続され、第2冷却段は第2段熱交換器20と熱的に接続されている。第1段熱交換器18は冷媒を45 K、第2段熱交換器20は冷媒を4.5 Kまで冷却することができる。

【0100】

第1向流式熱交換器22、第1段熱交換器18、第2向流式熱交換器24、第2段熱交換器20は、真空容器26内の輻射シールド28内部に設置されている。輻射シールド28は極低温冷凍機10の第1冷却段12と熱的に接続されている。真空容器26内は真空であり、輻射シールド28の外側は多層断熱層であるスーパーインシュレータが巻回されており、輻射シールド28内にある装置類への輻射熱を軽減している。

【0101】

圧力調整弁30aおよび30bは冷媒が圧縮機31の吸入口側の室温環境に設置されて

おり、開度は0%から100%まで任意に調整できる。移送管路収納管32およびその内部の構造、熱的特性は図2および表2と同じである。

【0102】

本実施の形態を動作させた場合の各部温度の測定結果を図5内に示す。

【0103】

これは冷媒圧力を圧縮機31の吐出口で1MPa、圧力調整弁30の直後で0.3MPaとし、冷媒の流量を0.1g/sで運転した場合、の温度測定結果である。

【0104】

図5からわかるようにコイル冷却用熱交換器56を約5Kにまで冷却することが可能であった。これにより、NMRプローブコイル50を極低温に冷却することができ、Q値とS/N比を向上することが可能であった。

【0105】

また、5Kという温度は常圧中での液体ヘリウムの温度である4.2Kに近く、照射コイルまたは受信コイルとしてはY-123系、Bi-2223系またはBi-2212系酸化物系超電導体等はもちろん、 MgB_2 、 Nb_3Al 、 Nb_3Sn 、 $NbTi$ 等の金属系超電導体の安定使用も可能な温度である。

【0106】

酸化物系超電導体では超電導膜に対して垂直方向に磁場を引加した場合は平行方向と比較して2桁程度輸送電流が減少するという問題があり、照射コイルおよび受信コイルの形状には制限がある。

【0107】

一方、金属系超電導体ではそのような異方性が小さいため、複雑な形状のコイルを簡単に作成できるというメリットがある。しかし、金属系超電導体は一般的に超電導転移温度が低く、また、超電導転移温度以下であっても、温度が高いと臨界電流が低下するという特性がある。

【0108】

したがって、複雑な形状のコイルを簡単に作成するためには金属系超電導体を用い、温度をできる限り下げるとよい。本実施の形態で実現できた5Kという温度は一般的な金属系超電導体をコイルとして用いるには十分低い温度であり、本実施の形態を採用することにより複雑な形状のコイルも実現可能となった。

【0109】

一方、図1説明で述べたように、低温バルブを用いて極低温冷媒の圧力を降下させ、ジュール・トムソン効果を利用することにより、冷媒の温度をさらに低下させたり、液化させたりすることは可能である。この場合、圧力調整弁30を第2段熱交換器20と第1移送管路34の間に設置することにより、その効果を得ることができる。

【0110】

ジュール・トムソン効果を効率よく得るためには、例えば、冷媒をヘリウムとした場合、圧力調整弁30に流入する冷媒の温度は約7K、圧力は1MPa、圧力調整弁30から流出する冷媒の圧力は0.1MPa程度が望ましい。上記の条件では4.2Kの液体ヘリウムを得ることができる。

【0111】

したがって、ここで得られた液体ヘリウムを冷媒タンク70等に一旦貯蔵し、必要量をコイル冷却用熱交換器56に移送することにより、NMRプローブコイル50を4.2Kにまで冷却することができ、Q値やS/N比をさらに向上することが可能であった。

【0112】

図6は、本発明の他の実施の形態を示す図である。圧縮機31は、冷媒を第1向流式熱交換器22、第2段熱交換器20、第1移送管路34、コイル冷却用熱交換器56、第2移送管路36、第1向流式熱交換器22の順の経路で循環する。

【0113】

極低温冷凍機10は極低温冷凍機用圧縮機16により駆動され、第2冷却段は第2段熱

交換器 20 と熱的に接続されている。第 2 段熱交換器 20 は冷媒を 4.5 K まで冷却することができる。第 1 向流式熱交換器 22、第 2 段熱交換器 20 は真空容器 26 内の輻射シールド 28 内部に設置されている。輻射シールド 28 は、第 1 冷却段 12 と熱的に接続されている。

【0114】

真空容器 26 内は真空であり、輻射シールド 28 の外側は多層断熱層であるスーパーインシュレータが巻回されており、輻射シールド 28 内にある装置類への輻射熱を軽減している。圧力調整弁 30 は、冷媒が圧縮機 31 の吸入口側の室温環境に設置されており、開度は 0% から 100% まで任意に調整できる。移送管路収納管 32 およびその内部の構造、熱的特性は図 2 および表 2 とほぼ同じであるが、本実施の形態の場合は第 3 移送管路 38、第 4 移送管路は存在しない。

【0115】

本実施の形態を動作させた場合の各部温度の測定結果を図 6 内に示す。

【0116】

これは冷媒圧力を圧縮機 31 の吐出口で 1 MPa、圧力調整弁 30 の直後で 0.3 MPa とし、冷媒の流量を 0.1 g/s で運転した場合、の温度測定結果である。図 6 からわかるようにコイル冷却用熱交換器 56 を約 20 K にまで冷却することが可能であった。

【0117】

一方、図 1 の説明で述べたように、低温バルブを用いて極低温冷媒の圧力を降下させ、ジュール・トムソン効果を利用することにより、冷媒の温度をさらに低下させることが可能である。この場合、圧力調整弁 30 を第 2 段熱交換器 20 と第 1 移送管路 34 の間に設置することにより、その効果を得ることができる。

【0118】

また、ヘリウムを冷媒タンク 70 に一旦貯蔵し、必要量をコイル冷却用熱交換器 56 に移送することにより、NMR プローブコイル 50 をさらに冷却することができ、Q 値や S/N 比をさらに向上することが可能であった。

【0119】

図 7 に本発明の他の実施の態様を示す。

【0120】

圧縮機 31 は、冷媒を第 1 向流式熱交換器 22、第 1 段熱交換器 18、第 2 向流式熱交換器 24、第 2 段熱交換器 20、第 1 移送管路 34、コイル冷却用熱交換器 56、第 2 移送管路 36、第 2 向流式熱交換器 24、第 1 向流式熱交換器 22 の順の経路で循環する。

【0121】

極低温冷凍機 10 は極低温冷凍機用圧縮機 16 により駆動され、第 1 冷却段 12 は第 1 段熱交換器 18 と熱的に接続され、第 2 冷却段 14 は、第 2 段熱交換器 20 と熱的に接続されている。第 1 段熱交換器 18 は冷媒を 4.5 K、第 2 段熱交換器 20 は冷媒を 4.5 K まで冷却することができる。

【0122】

第 1 向流式熱交換器 22、第 1 段熱交換器 18、第 2 向流式熱交換器 24、第 2 段熱交換器 20 は真空容器 26 内の輻射シールド 28 内部に設置されている。輻射シールド 28 は極低温冷凍機 10 の第 1 冷却段 12 と熱的に接続されている。真空容器 26 内は真空であり、輻射シールド 28 の外側は多層断熱層であるスーパーインシュレータが巻回されており、輻射シールド 28 内にある装置類への輻射熱を軽減している。

【0123】

圧力調整弁 30 は冷媒が圧縮機 31 の吸入口側の室温環境に設置されており、開度は 0% から 100% まで任意に調整できる。移送管路収納管 32 およびその内部の構造、熱的特性は図 2 および表 2 とほぼ同じであるが、本実施の形態の場合は、第 3 移送管路 38、第 4 移送管路は存在しない。

【0124】

本実施の形態を動作させた場合の各部温度の測定結果を図 7 内に示す。

【0125】

これは冷媒圧力を圧縮機 31 の吐出口で 1 MPa、圧力調整弁 30 の直後で 0.3 MPa とし、冷媒の流量を 0.1 g/s で運転した場合、の温度測定結果である。

【0126】

図 7 からわかるようにコイル冷却用熱交換器 56 を約 5 K にまで冷却することが可能であった。これにより、NMR プロブコイル 50 を極低温に冷却することができ、Q 値と S/N 比を向上することが可能であった。

【0127】

また、5 K という温度は常圧中での液体ヘリウムの温度である 4.2 K に近く、照射コイルまたは受信コイルとしては Y-123 系、Bi-2223 系または Bi-2212 系酸化物系超電導体等はもちろん、MgB₂、Nb₃Al、Nb₃Sn、NbTi 等の金属系超電導体の安定使用も可能な温度である。

【0128】

酸化物系超電導体では超電導膜に対して垂直方向に磁場を引加した場合は平行方向と比較して 2 桁程度輸送電流が減少するという問題があり、照射コイルおよび受信コイルの形状には制限がある。一方、金属系超電導体ではそのような異方性が小さいため、複雑な形状のコイルを簡単に作成できるというメリットがある。

【0129】

しかし、金属系超電導体は一般的に超電導転移温度が低く、また、超電導転移温度以下であっても、温度が高いと臨界電流が低下するという特性がある。したがって、複雑な形状のコイルを簡単に作成するためには金属系超電導体を用い、温度をできる限り下げるとよい。

【0130】

本実施の形態で実現できた 5 K という温度は一般的な金属系超電導体をコイルとして用いるには十分低い温度であり、本実施の形態を採用することにより複雑な形状のコイルも実現可能となった。

【0131】

一方、図 1 の説明で述べたように、低温バルブを用いて極低温冷媒の圧力を降下させ、ジュール・トムソン効果を利用することにより、冷媒の温度をさらに低下させたり、液化させたりすることは可能である。この場合、圧力調整弁 30 を第 2 段熱交換器 20 と第 1 移送管路 34 の間に設置することにより、その効果を得ることができる。

【0132】

ジュール・トムソン効果を効率よく得るためには、例えば、冷媒をヘリウムとした場合、圧力調整弁 30 に流入する冷媒の温度は約 7 K、圧力は 1 MPa、圧力調整弁 30 から流出する冷媒の圧力は 0.1 MPa 程度が望ましい。

【0133】

上記の条件では 4.2 K の液体ヘリウムを得ることができる。したがって、ここで得られた液体ヘリウムを冷媒タンク 70 に一旦貯蔵し、必要量をコイル冷却用熱交換器 56 に移送することにより、NMR プロブコイル 50 を 4.2 K にまで冷却することができ、Q 値や S/N 比をさらに向上することが可能であった。

【0134】

図 8 は、本発明の他の実施の形態を示す図である。圧縮機 31 は冷媒を第 1 向流式熱交換器 22、第 1 段熱交換器 18、第 2 向流式熱交換器 24、第 2 段熱交換器 20、第 1 移送管路 34、コイル冷却用熱交換器 56、第 2 移送管路 36、第 2 向流式熱交換器 24、第 1 向流式熱交換器 22 の順の経路で循環する。

【0135】

さらに、第 2 冷媒タンク 76 を設け、前置増幅器用熱交換器 48 を介して第 2 冷媒タンク 76 に貯蔵した冷媒、好ましくは液体窒素や 100 K 以下に冷却された窒素ガスまたはヘリウムガスと前置増幅器 50 を熱交換する。図 8 には冷媒として液体窒素を用いた場合の温度を示している。また、第 2 冷媒タンク 76 の代わりに、前置増幅器冷却装置 78 を

設置してもよい。

【0136】

前置増幅器冷却装置 78 には、上記経路以外に極低温冷凍機とは別の第 2 冷凍機を設け、前置増幅器用熱交換器を介して第 2 冷凍機を用いて冷却した冷媒と前記前置増幅器を熱交換する。この場合の冷媒としては液体窒素、100 K 以下に冷却された気体窒素、または気体ヘリウム等が望ましい。図 8 は、液体窒素の温度を示している。

【0137】

極低温冷凍機 10 は、極低温冷凍機用圧縮機 16 により駆動され、第 1 冷却段 12 は第 1 段熱交換器 18 と熱的に接続され、第 2 冷却段は第 2 段熱交換器 20 と熱的に接続されている。第 1 段熱交換器 18 は冷媒を 45 K、第 2 段熱交換器 20 は冷媒を 4.5 K まで冷却することができる。

【0138】

第 1 向流式熱交換器 22、第 1 段熱交換器 18、第 2 向流式熱交換器 24、第 2 段熱交換器 20 は真空容器 26 内の輻射シールド 28 内部に設置されている。輻射シールド 28 は極低温冷凍機 10 の第 1 冷却段 12 と熱的に接続されている。真空容器 26 内は真空であり、輻射シールド 28 の外側は多層断熱層であるスーパーインシュレータが巻回されており、輻射シールド 28 内にある装置類への輻射熱を軽減している。

【0139】

圧力調整弁 30 は冷媒が圧縮機 31 の吸入口側の室温環境に設置されており、開度は 0 % から 100 % まで任意に調整できる。移送管路収納管 32 およびその内部の構造、熱的特性は前記図 2 および表 2 とほぼ同じであるが、本実施の形態の場合は第 3 移送管路 38、第 4 移送管路 40 は存在しない。

【0140】

本実施の形態を動作させた場合の各部温度の測定結果を図 7 内に示す。これは冷媒圧力を圧縮機 31 の吐出口で 1 MPa、圧力調整弁 30 の直後で 0.3 MPa とし、冷媒の流量を 0.1 g/s で運転した場合、の温度測定結果である。

【0141】

図 8 からわかるようにコイル冷却用熱交換器 56 を約 5 K にまで冷却することが可能であった。これにより、NMR プローブコイル 50 を極低温に冷却することができ、Q 値と S/N 比を向上することが可能であった。

【0142】

また、5 K という温度は常圧中での液体ヘリウムの温度である 4.2 K に近く、照射コイルまたは受信コイルとしては Y-123 系、Bi-2223 系または Bi-2212 系酸化物系超電導体等はもちろん、MgB₂、Nb₃Al、Nb₃Sn、NbTi 等の金属系超電導体の安定使用も可能な温度である。

【0143】

酸化物系超電導体では超電導膜に対して垂直方向に磁場を引加した場合は平行方向と比較して 2 桁程度輸送電流が減少するという問題があり、照射コイルおよび受信コイルの形状には制限がある。

【0144】

一方、金属系超電導体ではそのような異方性が小さいため、複雑な形状のコイルを簡単に作成できるというメリットがある。

【0145】

しかし、金属系超電導体は一般的に超電導転移温度が低く、また、超電導転移温度以下であっても、温度が高いと臨界電流が低下するという特性がある。したがって、複雑な形状のコイルを簡単に作成するためには金属系超電導体を用い、温度をできる限り下げるとよい。

【0146】

本実施の形態で実現できた 5 K という温度は一般的な金属系超電導体をコイルとして用いるには十分低い温度であり、本実施の形態を採用することにより複雑な形状のコイルも

実現可能となった。

【0147】

一方、図1の説明で述べたように、低温バルブを用いて極低温冷媒の圧力を降下させ、ジュール・トムソン効果を利用することにより、冷媒の温度をさらに低下させたり、液化させたりすることは可能である。この場合、圧力調整弁30を第2段熱交換器20と第1移送管路34の間に設置することにより、その効果を得ることができる。

【0148】

ジュール・トムソン効果を効率よく得るためには、例えば、冷媒をヘリウムとした場合、圧力調整弁30に流入する冷媒の温度は約7 K、圧力は1 MPa、圧力調整弁30から流出する冷媒の圧力は0.1 MPa程度が望ましい。上記の条件では4.2 Kの液体ヘリウムを得ることができる。

【0149】

したがって、ここで得られた液体ヘリウムを冷媒タンク70に一旦貯蔵し、必要量をコイル冷却用熱交換器56に移送することにより、NMRプローブコイル50を4.2 Kにまで冷却することができ、Q値やS/N比をさらに向上することが可能である。

【0150】

図9は、移送管路および移送管路収納管の他の実施形態を示す図である。第1移送管路34、第2移送管路36、第3移送管路38、第4移送管路40は単一の移送管路収納管32内に設置されている。第4移送管路40は、輻射シールド41と熱的に接続されている。輻射シールド41と接続するのは第3移送管路38でもよい。

【0151】

輻射シールド41の内部には第1移送管路34、第2移送管路36および第3移送管路38が設置されており、それぞれの移送管路の外部には移送管路への輻射侵入熱を低減できるように、多層断熱層であるスーパーインシュレータ42が巻回されている。

【0152】

また、移送管路収納管32内部は真空引きされており、気体の対流および熱伝導により移送管路への侵入熱を低減している。このような構成とすることにより、図1で示した移送管路収納管およびその内部構造の性能をそのままにしながら、構造を簡略化できる。

【0153】

また、輻射シールド41を第3移送管路38、または第4移送管路40と接続するのではなく、極低温冷凍機10とは別の極低温冷凍機を用いて冷却することも好ましい。

【0154】

以上説明したように本発明によれば、圧縮機を破壊することなく、プローブヘッド内の照射コイル、受信コイルおよび前置増幅器を極低温冷却することができ、低温プローブを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0155】

【図1】 第1の実施の形態を示す図である。

【図2】 移送管路および移送管路収納管の実施形態を示す図である。

【図3】 第2の実施の形態を示す図である。

【図4】 第3の実施の形態を示す図である。

【図5】 第4の実施の形態を示す図である。

【図6】 第5の実施の形態を示す図である。

【図7】 第6の実施の形態を示す図である。

【図8】 第7の実施の形態を示す図である。

【図9】 別の移送管路および移送管路収納管の実施形態を示す図である。

【図10】 プローブ内部の形態を示す図である。

【図11】 第1の実施の形態において低温バルブと冷媒タンクを設置した場合のそれらの位置を示す図である。

【符号の説明】

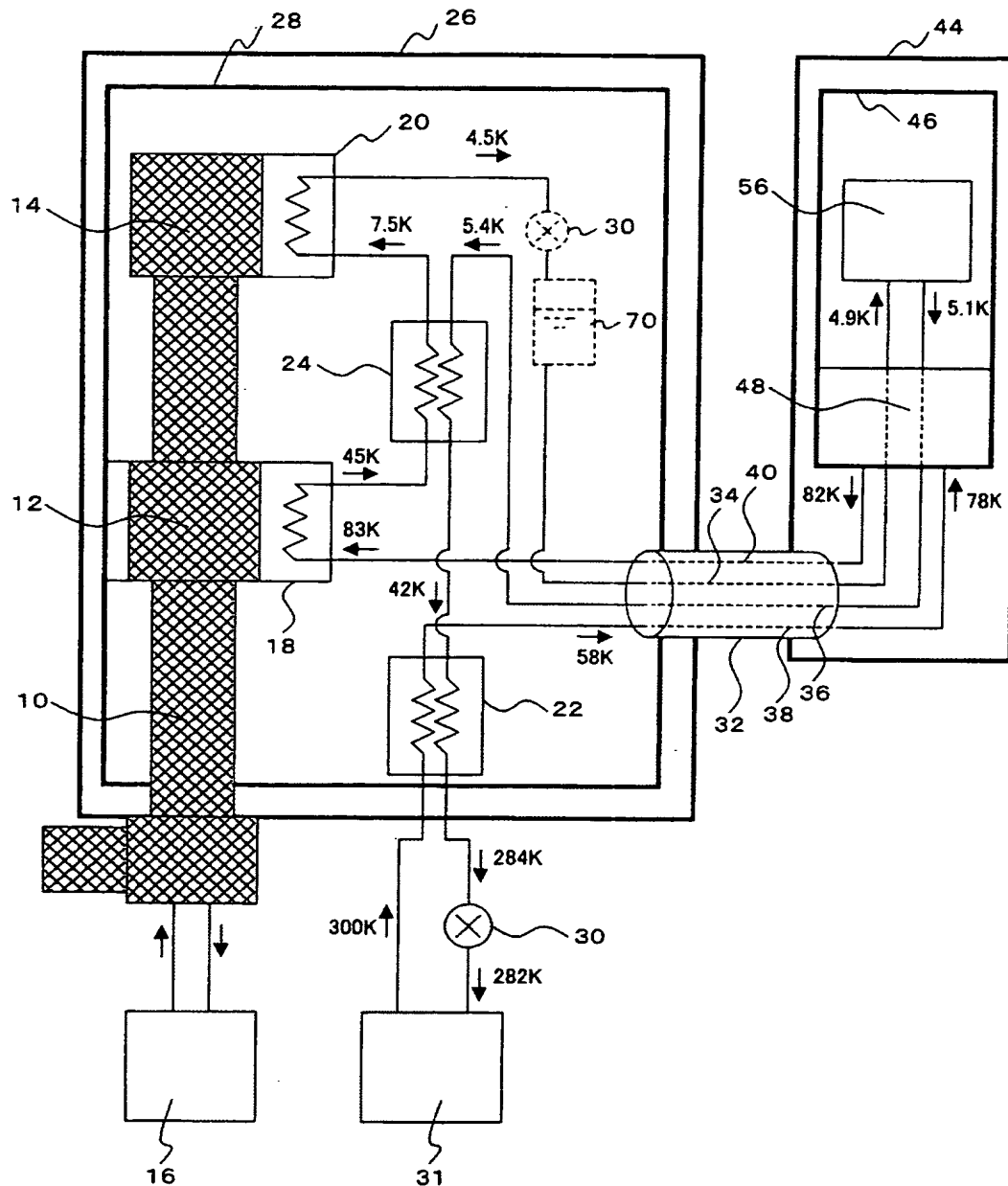
【 0 1 5 6 】

1 0 …極低温冷凍機、1 2 …第 1 冷却段、1 4 …第 2 冷却段、1 6 …極低温冷凍機用圧縮機、1 8 …第 1 段熱交換器、2 0 …第 2 段熱交換器、2 2 …第 1 向流式熱交換器、2 4 …第 2 向流式熱交換器、2 6 …真空容器、3 0、3 0 a、3 0 b …圧力調整弁、3 1 …圧縮機、3 2 …移送管路収納管、3 4 …第 1 移送管路、3 6 …第 2 移送管路、3 8 …第 3 移送管路、4 0 …第 4 移送管路、4 2 …スーパーインシュレータ、4 4 …プローブ、4 6 …輻射シールド、4 8 …前置増幅器用熱交換器、5 0 …前置増幅器、5 2 …プローブコイル冷却用伝熱部、5 4 …プローブコイル、5 6 …コイル冷却用熱交換器、7 4 …第 3 向流式熱交換器、2 8、4 1、4 6 …輻射シールド、5 8 …調整回路、6 0 …高周波パルス入力端子、6 2 …F I D 信号出力端子、6 4 …サンプル管、7 0 …冷媒タンク、7 6 …第 2 冷媒タンク、7 8 …前置増幅器冷却装置。

【書類名】図面

【図1】

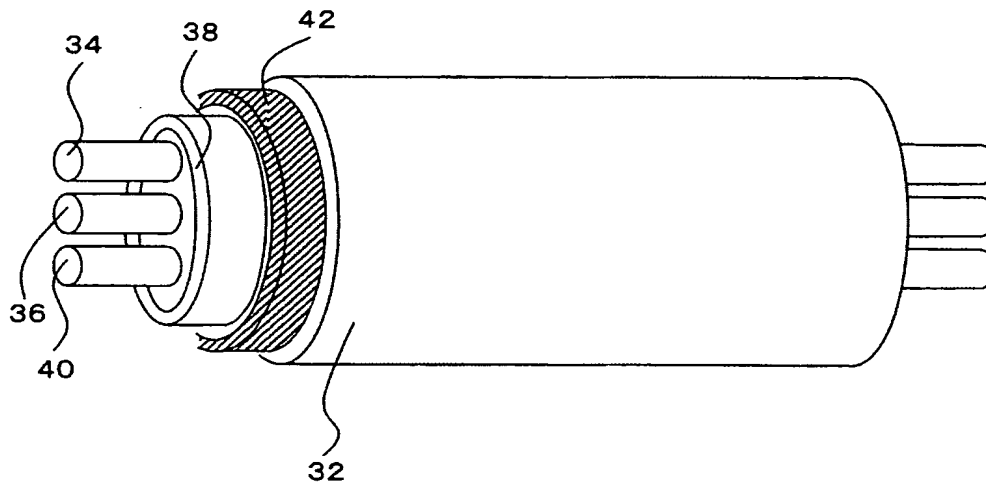
図 1



10…極低温冷凍機 12…第1冷却段 14…第2冷却段 16…極低温冷凍機用圧縮機
 18…第1段熱交換器 20…第2段熱交換器 22…第1向流式熱交換器
 24…第2向流式熱交換器 26…真空容器 28…輻射シールド 30…圧力調整弁
 31…圧縮機 32…移送管路収納管 34…第1移送管路 36…第2移送管路
 38…第3移送管路 40…第4移送管路 44…プローブ 46…輻射シールド
 48…前置増幅器用熱交換器 56…コイル冷却用熱交換器 70…冷媒タンク

【図 2】

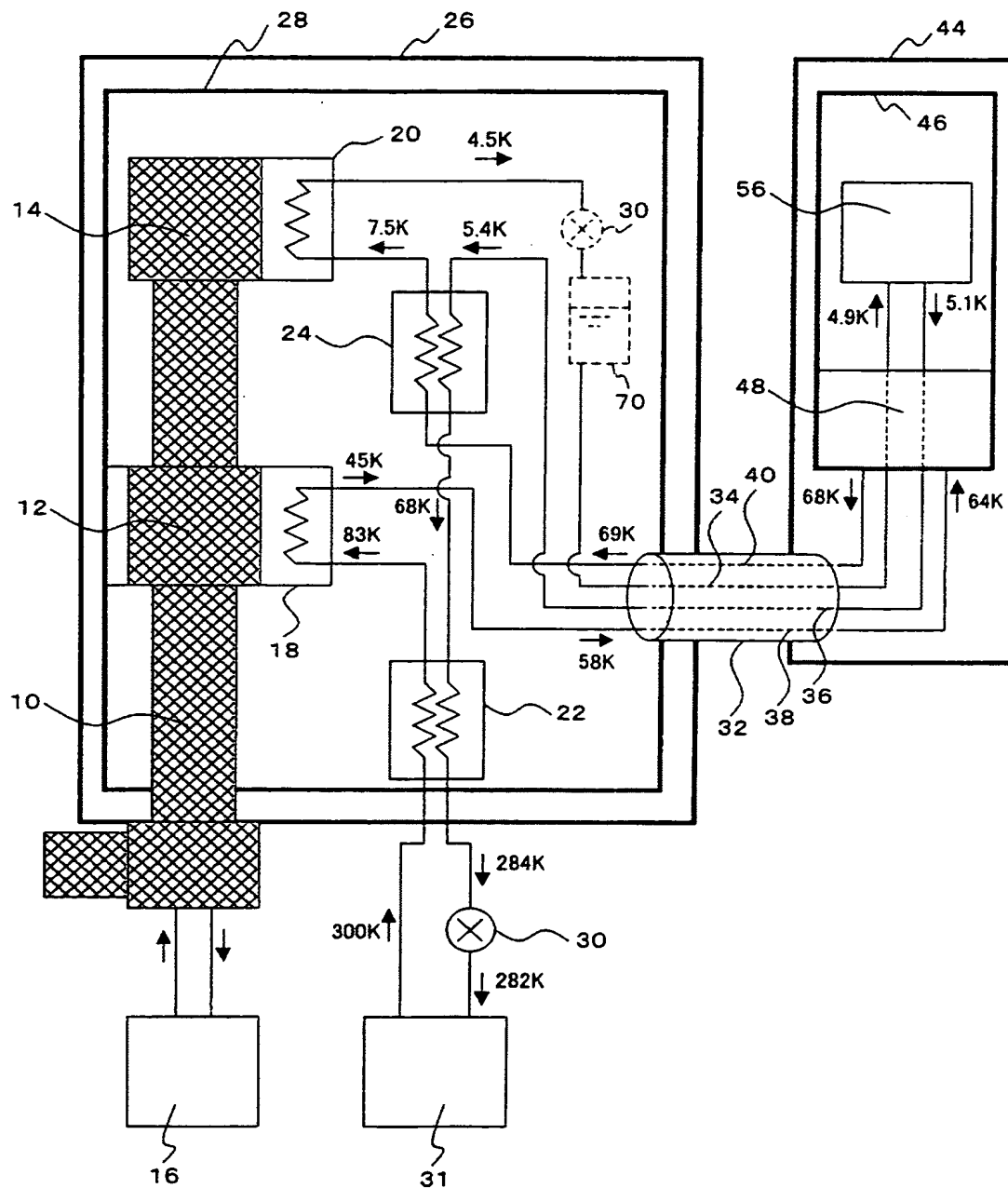
図 2



32…移送管路収納管 34…第1移送管路 36…第2移送管路
38…第3移送管路 40…第4移送管路 42…スーパーインシュレータ

【図 3】

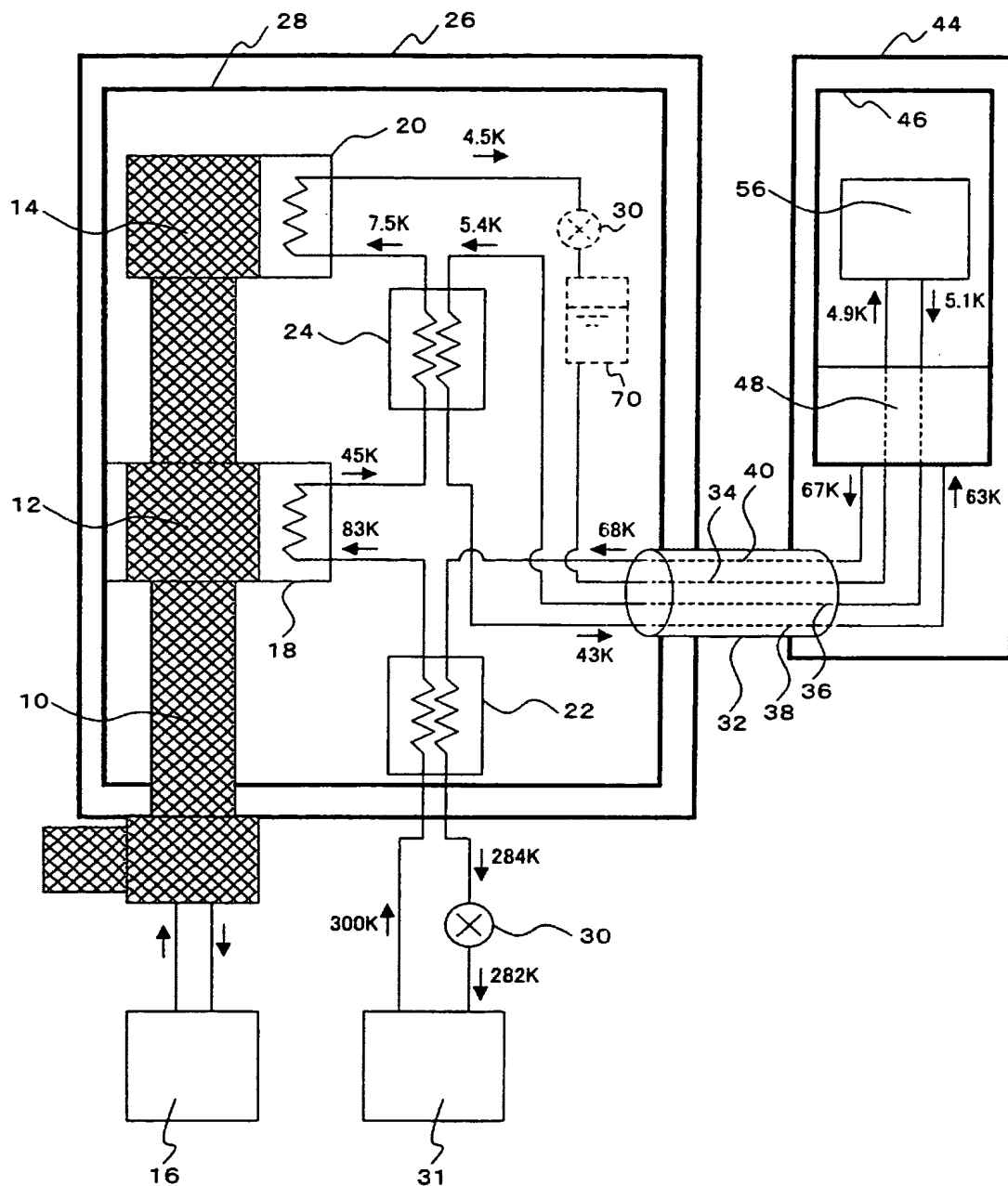
図 3



10...極低温冷凍機 12...第1冷却段 14...第2冷却段 16...極低温冷凍機用圧縮機
 18...第1段熱交換器 20...第2段熱交換器 22...第1向流式熱交換器
 24...第2向流式熱交換器 26...真空容器 28...輻射シールド 30...圧力調整弁
 31...圧縮機 32...移送管路収納管 34...第1移送管路 36...第2移送管路
 38...第3移送管路 40...第4移送管路 44...プローブ 46...輻射シールド
 48...前置増幅器用熱交換器 56...コイル冷却用熱交換器 70...冷媒タンク

【図 4】

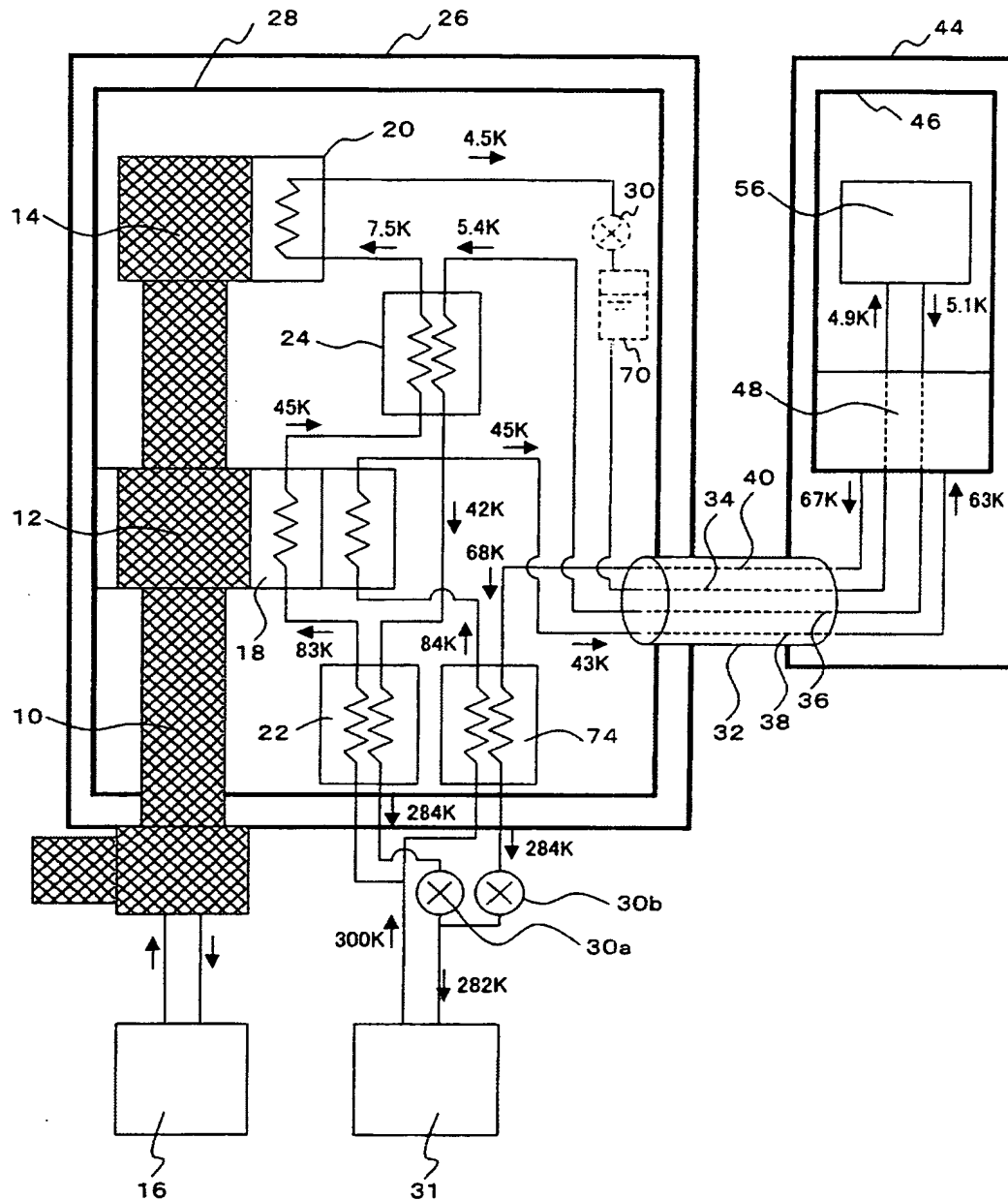
図 4



10…極低温冷凍機 12…第1冷却段 14…第2冷却段 16…極低温冷凍機用圧縮機
 18…第1段熱交換器 20…第2段熱交換器 22…第1向流式熱交換器
 24…第2向流式熱交換器 26…真空容器 28…輻射シールド 30…圧力調整弁
 31…圧縮機 32…移送管路収納管 34…第1移送管路 36…第2移送管路
 38…第3移送管路 40…第4移送管路 44…プローブ 46…輻射シールド
 48…前置増幅器用熱交換器 56…コイル冷却用熱交換器 70…冷媒タンク

【図 5】

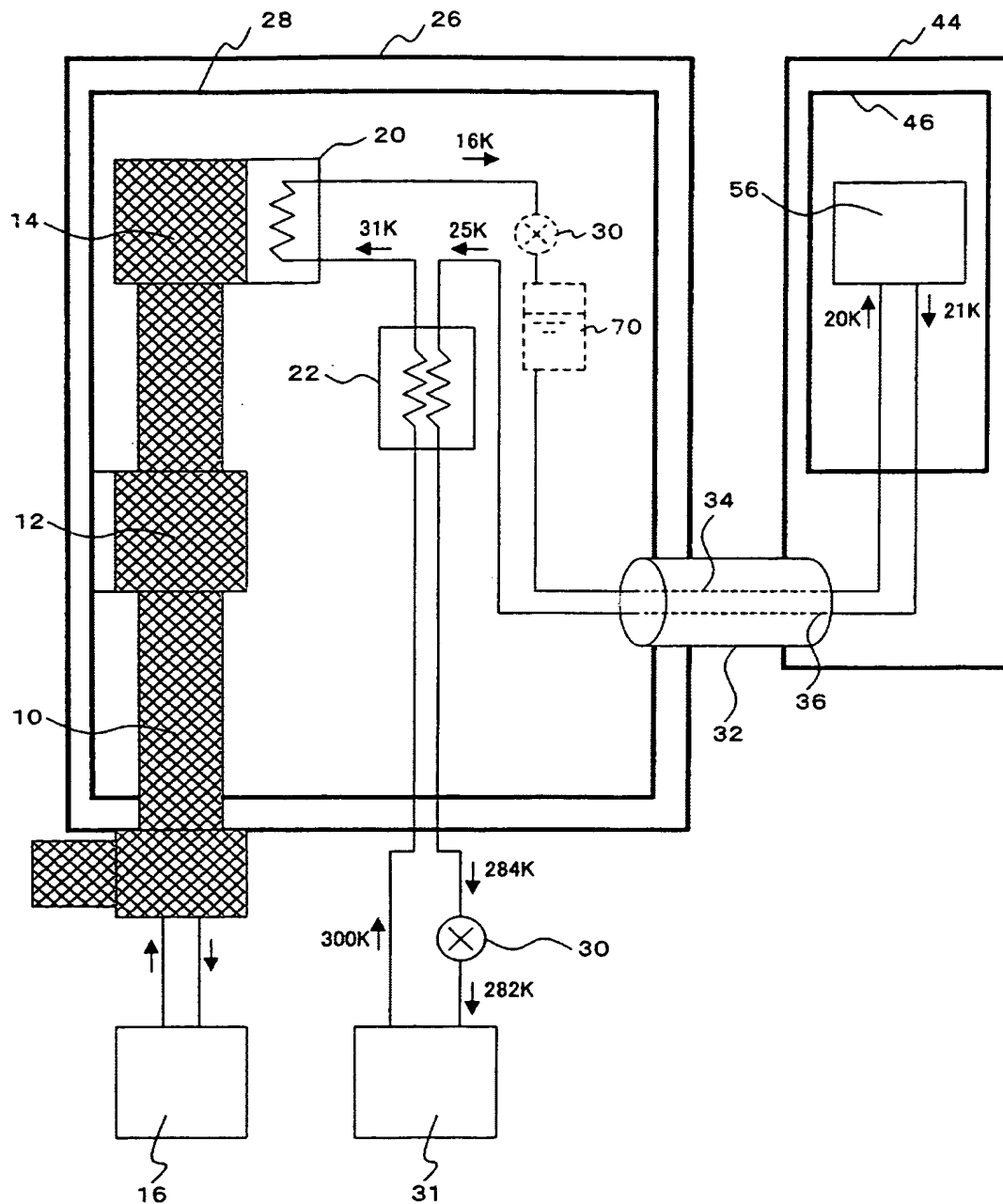
図 5



10…極低温冷凍機 12…第1冷却段 14…第2冷却段 16…極低温冷凍機用圧縮機
 18…第1段熱交換器 20…第2段熱交換器 22…第1向流式熱交換器
 24…第2向流式熱交換器 26…真空容器 28…輻射シールド 30a、30b…圧力調整弁
 31…圧縮機 32…移送管路収納管 34…第1移送管路 36…第2移送管路
 38…第3移送管路 40…第4移送管路 44…プローブ 46…輻射シールド
 48…前置増幅器用熱交換器 56…コイル冷却用熱交換器 70…冷媒タンク
 74…第3向流式熱交換器

【図 6】

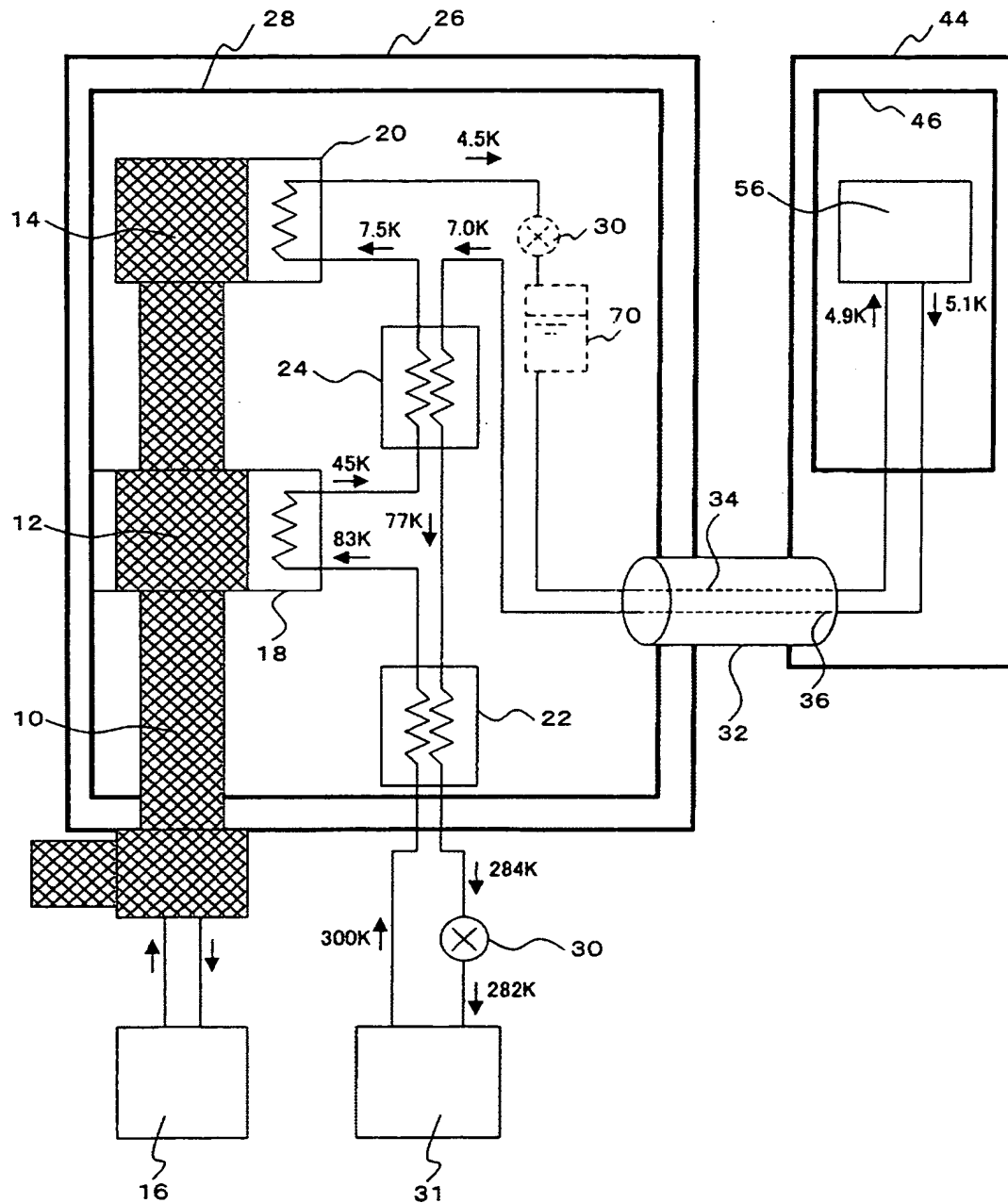
図 6



10…極低温冷凍機 12…第1冷却段 14…第2冷却段 16…極低温冷凍機用圧縮機
 20…第2段熱交換器 22…第1向流式熱交換器 26…真空容器 28…輻射シールド
 30…圧力調整弁 31…圧縮機 32…移送管路収納管 34…第1移送管路
 36…第2移送管路 44…プローブ 46…輻射シールド 56…コイル冷却用熱交換器
 70…冷媒タンク

【図 7】

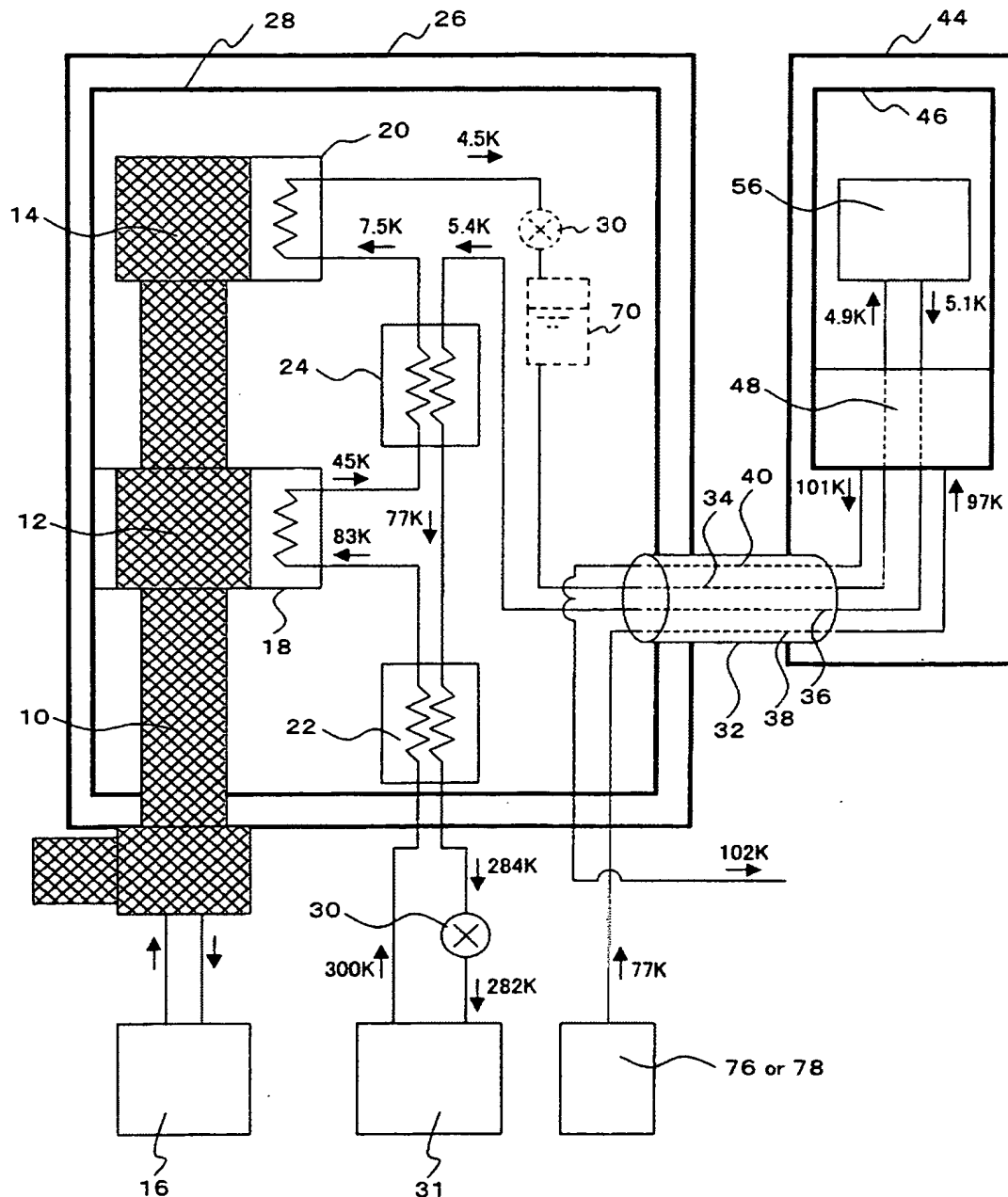
図 7



10…極低温冷凍機 12…第1冷却段 14…第2冷却段 16…極低温冷凍機用圧縮機
 18…第1段熱交換器 20…第2段熱交換器 22…第1向流式熱交換器
 24…第2向流式熱交換器 26…真空容器 28…輻射シールド 30…圧力調整弁
 31…圧縮機 32…移送管路収納管 34…第1移送管路 36…第2移送管路
 44…プローブ 46…輻射シールド 56…コイル冷却用熱交換器 70…冷媒タンク

【図 8】

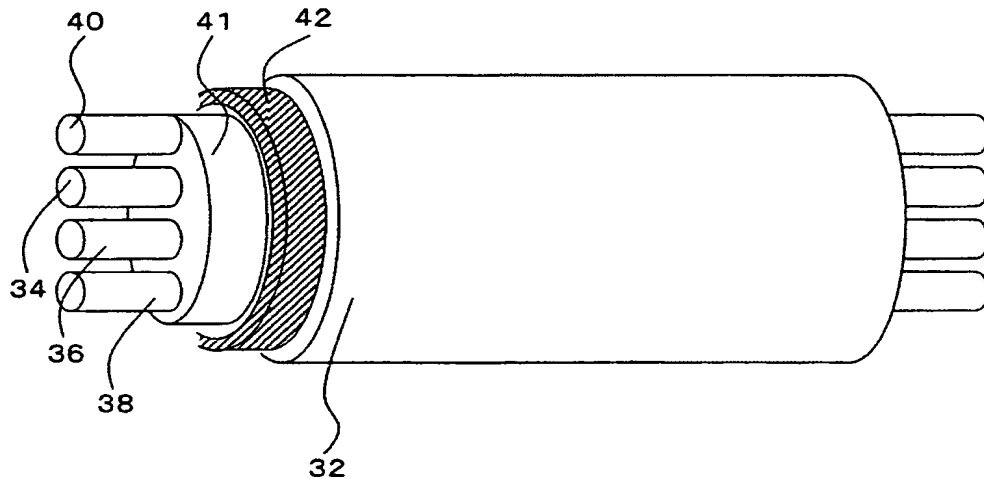
図 8



10…極低温冷凍機 12…第1冷却段 14…第2冷却段 16…極低温冷凍機用圧縮機
 18…第1段熱交換器 20…第2段熱交換器 22…第1向流式熱交換器
 24…第2向流式熱交換器 26…真空容器 28…輻射シールド 30…圧力調整弁
 31…圧縮機 32…移送管路収納管 34…第1移送管路 36…第2移送管路
 38…第3移送管路 40…第4移送管路 44…プローブ 46…輻射シールド
 48…前置増幅器用熱交換器 56…コイル冷却用熱交換器 70…冷媒タンク
 76…第2冷媒タンク 78…前置増幅器冷却装置

【図 9】

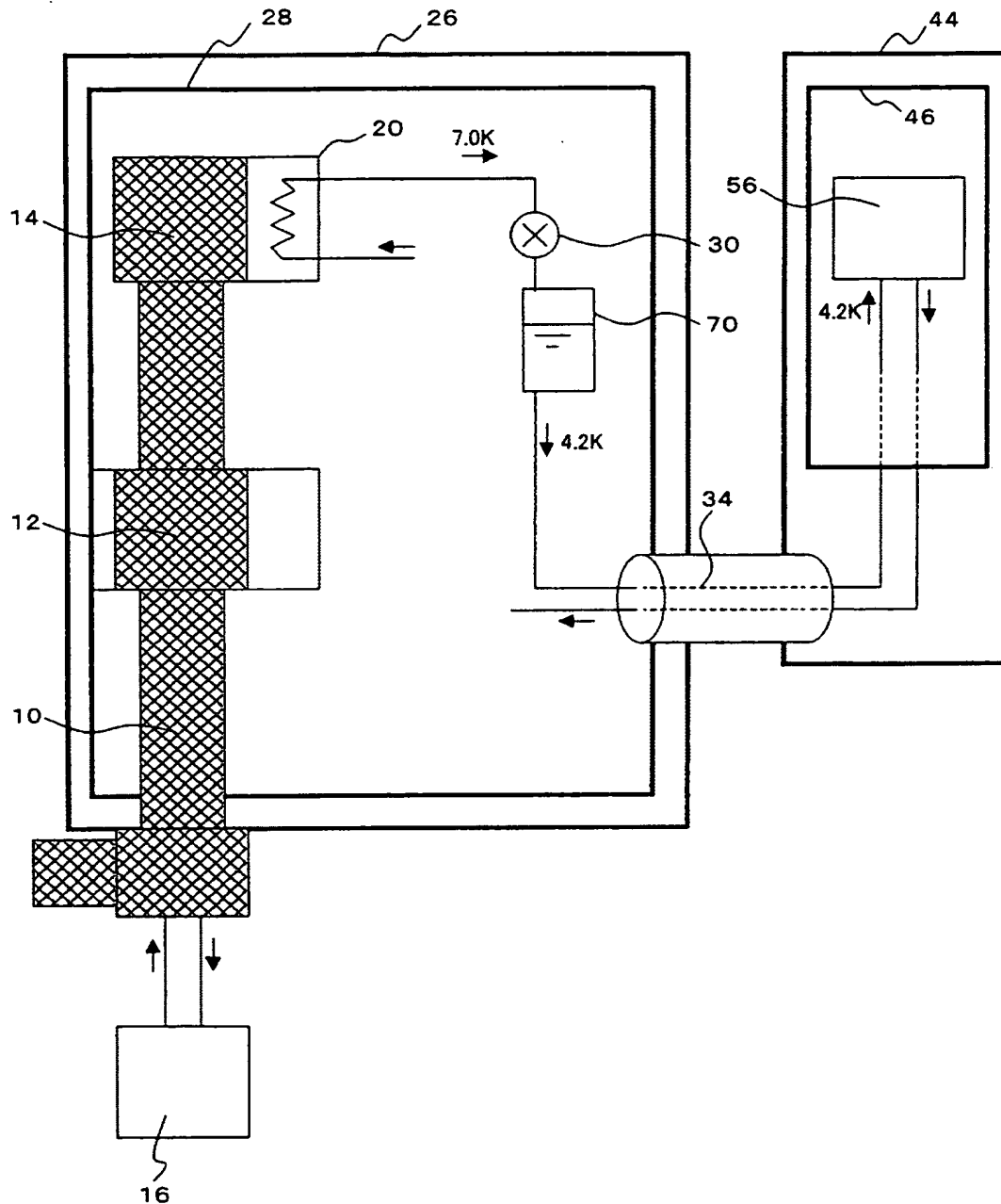
図 9



32...移送管路収納管 34...第1移送管路 36...第2移送管路 38...第3移送管路
40...第4移送管路 41...輻射シールド 42...スーパーインシュレータ

【図 11】

図 11



10…極低温冷凍機 12…第1冷却段 14…第2冷却段 16…極低温冷凍機用圧縮機
 20…第2段熱交換器 28…輻射シールド 30…圧力調整弁 34…第1移送管路
 44…プローブ 46…輻射シールド 56…コイル冷却用熱交換器 70…冷媒タンク

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 運転中に圧縮機が破壊するおそれがなく、照射コイルおよび受信コイルを約 5 K にまで冷却する。

【解決手段】 移送管路収納管内に二重管状の第 3 移送管路 3 8 を設け、その内部には第 1 移送管路、第 2 管路および第 4 移送管路 4 0 が設置する。さらに、常温部分に圧力調整弁を設置することにより、侵入熱量を抑制し、冷媒温度を下げる事が可能である。圧縮機を破壊することなく、プローブヘッド内の照射コイル、受信コイルおよび前置増幅器を極低温冷却することができ、低温プローブを実現することができる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 3 4 0 5 7 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 1 0 8]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区神田駿河台 4 丁目 6 番地

氏 名

株式会社日立製作所